

강섬유보강 콘크리트의 휨인성에 영향을 미치는 실험방법적 요인

The Test Methodological Effects on the Flexural Toughness of Steel Fiber Reinforced Concrete

한 승 환* 이 형 준* 오 병 환** 조 재 열***
Han, Seung Hwan Lee, Hyung Joon Oh, Byung Hwan Cho, Jae Yeol

ABSTRACT

Nowadays, shotcrete plays an essential part in the construction of underground structures, and steel fiber is so useful for increasing the toughness of the concrete that is spotlighted at tunnel or pavement site.

A variety of tests have been developed to measure and quantify the improvements achievable in steel fiber reinforced concrete(SFRC) and shotcrete. But Korea doesn't have specific standards in this respect, and the only criteria that KHC(Korea Highway Corporation) applies to tunnel shotcreting are flexural strength and toughness quotient. Test results in order to manage the quality of steel fiber reinforced concrete and shotcrete are very affected by various test method. Therefore, this study deals with the test methodological effects on SFRC quality. The major interests are loading method, that is, load control and displacement control, loading velocity, support condition.

1. 서론

강섬유는 터널, 포장 등의 토목구조물에서 콘크리트에 혼합되어 무근콘크리트의 휨강도 특성상의 취성을 보완하여 상당한 인성증진효과를 나타내는 복합재료로 각광을 받고 있다. 특히 최근 도로의 신설 및 확장공사가 활발히 이루어 지고 있는데 우리나라의 지형적 특성상 터널이 다수 시공되고 있어 강섬유보강콘크리트의 사용이 빈번하다. 현재 한국도로공사에서 제정하여 국도상의 터널현장에서 적용되고 있는 품질관리 기준은 휨강도(Flexural Strength) 및 등가휨강도비(Toughness Quotient)이다. 하지만 이러한 강도특성은 여러 가지 실험방법적 요인, 즉 하중재하속도, 하중제어방법, 측정방법, 그리고 시험장치 등의 영향을 상당히 받는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 여러 가지 실험방법적 인자들이 섬유보강콘크리트의 강도특성에 미치는 영향을 분석하여 보다 합리적인 휨인성평가방법을 제시하고자 한다.

* 정회원, 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

** 정회원, 서울대학교 토목공학과 교수

*** 정회원, 서울대학교 토목공학과 대학원 박사과정

2. 실험 개요

본 실험의 목적이 강섬유보강된 콘크리트의 시험방법에 따른 강도특성의 변화를 고찰하기 위함이다. 현재 다수의 업체에서 생산하고 있는 다양한 강섬유 중 1가지만을 선택하여 콘크리트에 혼입하였으며, 혼입량도 일반적으로 널리 사용되고 있는 $40\text{kg}/\text{m}^3$ 으로 일원화 하였다. 콘크리트의 설계기준 강도는 $210\text{kg}/\text{cm}^2$ 이며, 시험체 크기는 $10 \times 10 \times 35\text{cm}$ 로써 3등분점하중법에 따라 시험을 수행하였다.

2.1 실험변수

본 실험에서 고려한 실험변수는 크게 하중재하방법 및 지점조건으로 구분되는데, 먼저 하중재하방법의 경우 일반적으로 인성시험을 하기 위해서는 균열후거동을 알아야 하므로 변위제어 방법이 이용되고 있는데, 여기서 변위라 함은 보의 순수변위를 의미한다. 그러나 종종 스트로크변위제어의 방법을 이용하여 시험을 수행하기 때문에 그것으로 인하여 야기되는 결과의 특성변화를 살펴보고자 하였으며, 일본에서 적용하고 있는 하중제어방법과 변위제어방법을 혼용한 것도 고려하였다. 재하속도는 한국도로공사 지침에 제시된 최대값 $0.1\text{mm}/\text{min}$ 과 2배 빠른 $0.2\text{mm}/\text{min}$ 를 고려하였으며, 외부에 장착된(그림 1참조) LVDT로 제어하는 방법과 스트로크변위제어법 두가지를 모두 고려하였다. 하중제어법을 혼용한 경우 KS F 2408에 제시된 $10\text{kg}/\text{cm}^2/\text{min}$ 를 적용하였다. 다음으로 지점조건은 각종 기준에 제시된 바와 같이 「~공시체를 변형을 다소라도 구속하는 구조이어서는 안된다」에 준하여 보 시험체의 길이방향변위를 구속하지 않는 로울러이어야 하지만 일반적으로 힌지형태의 지점을 이용하고 있다. 따라서 지점조건을 달리하여 시험을 수행하여 그 차이를 살펴보고자 하였다.

표 1 변수 및 시험체명

지점조건	제어방법	변수명	지점조건	제어방법	변수명
Roller	0.1mm/min (Actuator Displ.)	R-D1-A	Hinge	0.1mm/min (Actuator Displ.)	H-D1-A
	0.2mm/min (Actuator Displ.)	R-D2-A		0.2mm/min (Actuator Displ.)	H-D2-A
	0.1mm/min (External LVDT)	R-D1-E		0.1mm/min (External LVDT)	H-D1-E
	0.2mm/min (External LVDT)	R-D2-E		0.2mm/min (External LVDT)	H-D1-E
	$10\text{kg}/\text{cm}^2/\text{min} + 0.1\text{mm}/\text{min}$	R-L1/D1-E		$10\text{kg}/\text{cm}^2/\text{min} + 0.1\text{mm}/\text{min}$	H-L1/D1-E
	$10\text{kg}/\text{cm}^2/\text{min}$	R-L1		$10\text{kg}/\text{cm}^2/\text{min}$	H-L1

2.2 시험방법

시험장치 및 측정은 한국도로공사의 지침에 준하였으며, 그림 1에서 보는 바와같이 시험체의 전면과 후면에 장착된 2개의 LVDT($1/1000\text{mm}$)를 통하여 보의 순수처짐을 측정하였다. 시험은 각 변수당 시험체 3개씩 수행하였다.

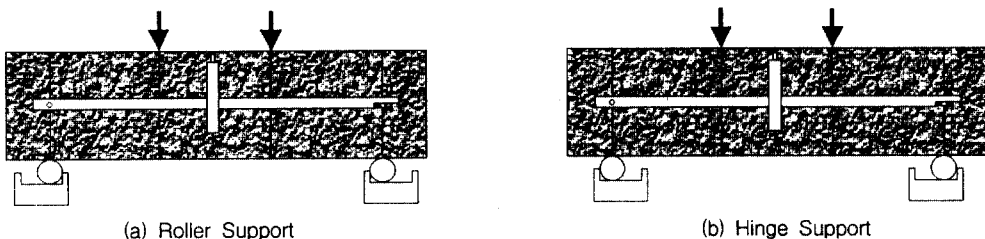


그림 1 시험장치 및 지점조건

3. 실험 결과 및 분석

본 절에서는 현재 실험이 진행중인 관계로 지금까지 정리된 결과만을 수록하였는데, 보의 순수처짐 제어 방법을 제외한 대부분의 변수에 대한 결과를 집중적으로 기술하였다. 결과분석에서는 측정결과로써 보의 순수처짐과 스트로크변위를 비교하였으며, 각 변수별로 휨강도와 등가휨강도비를 계산하여 비교하였다. 또한 로올리지점의 경우 지점의 변위를 측정하여 ힹ지지점의 경우와 비교하였다.

다음 그림 2는 시험결과 분석에 이용된 휨강도와 등가휨강도 및 등가휨강도비의 정의를 설명한 것이다.

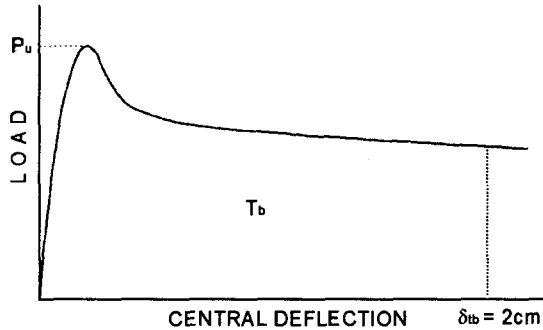


그림 2 등가휨강도의 정의

▷ 휨강도(flexural strength)

$$f_u = \frac{P_u l}{b h^2}$$

▷ 등가휨강도(equivalent flexural strength)

$$f_e = \frac{T_b}{\delta_{tb}} \frac{l}{b h^2}$$

▷ 등가휨강도비(Toughness Quotient)

$$T.Q. (\%) = \frac{f_e}{f_u} \times 100$$

윗식에서 b, h, 그리고 l은 각각 보의 폭, 높이, 그리고 지간을 의미한다.

표 2는 현재까지 완료된 시험결과로써 휨강도, 등가휨강도비, 그리고 지점에서 측정한 길이방향변위를 정리한 것인데, 각각 3개의 시험결과를 평균하여 기록한 것이다.

표 2 휨강도 및 등가휨강도비

시험체명	휨강도 [kg/cm ²]	등가휨강도비 [%]	길이방향변위 [mm]
R-D1-A	32.7	59.0	1.40
R-D2-A	29.9	44.4	1.37
R-L1	30.2	-	0
R-L1/D1-E	32.1	40.6	1.39
H-D1-A	37.2	74.8	0
R-D2-E	33.6	73.3	0

3.1 보의 순수처짐

일반적으로 보의 휨시험에 있어 처짐이라 함은 순수처짐을 의미하는데, 이것은 가력장치의 스트로크변위와는 상당한 차이를 나타낸다. 보의 순수처짐은 본 시험에서와 같이 보의 자체에 장착된 LVDT에 의해서만 얻을 수 있는데, 만약 LVDT를 다른 곳에 설치를 한다면 보의 순수처짐을 얻기가 불가능할 것으로 사료된다. 그리고 시험체의 앞뒤에 각각 1개씩 장착하여 평균을 취하는데, 이것은 시험체가 완전대칭이 아니므로 반드시 지켜져야 할 사항으로 판단된다. 그림 3은 같은 시험체에 대하여 보의 순수처짐과 스트로크변위를 비교하여 나타낸 것이다

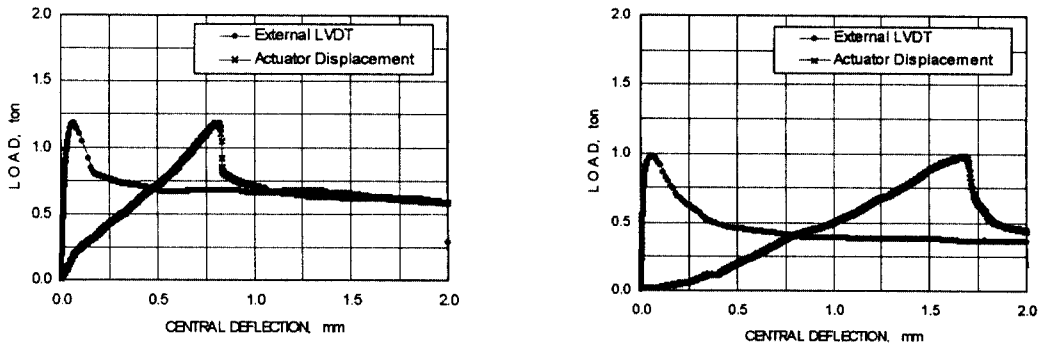


그림 3 보의 순수처짐과 스트로크변위

3.2 휨강도 및 등가휨강도비

실험이 진행중인 관계로 제한된 변수에 대한 결과만을 정리하였는데, 제어방법의 영향, 변위제어의 경우 속도의 영향, 그리고 지점조건의 영향을 휨강도와 등가휨강도비의 관점에서 살펴보았다.

1) 제어방법의 영향

그림 4와 5는 제어방법에 따른 강도특성의 변화를 나타낸 것인데, 먼저 휨강도에 미치는 영향을 살펴보면, 변위제어, 하중+변위제어, 그리고 하중제어방법의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났으나, 등가휨강도비의 경우 변위제어만으로 시험한 것보다 하중제어를 혼합한 경우에 훨씬 작은 등가휨강도비를 나타내었다. 하중제어와 변위제어를 혼합한 경우 등가휨강도비가 이처럼 작아지는 이유는 균열 발생과 동시에 변위제어로 변환하는데 소요되는 약 10초간의 시간동안 응력이완효과가 발생하여 야기된 결과로 판단된다. 시험체 R-L1, 즉 10kg/cm²/min의 속도로 하중을 제어한 경우 균열발생과 동시에 파괴가 발생하여 균열후거동을 얻지 못하기 때문에 등가휨강도비를 얻지 못했다. 그림 6은 이러한 양상을 비교하기 위하여 나타낸 것이다.

2) 변위제어속도의 영향

현재 한국도로공사에서 규정한 섬유보강콘크리트의 시험방법에는 변위제어의 속도를 0.5~1.0mm/min로 설정하고 있다. 그러나 시험체 1개당 소요되는 시간이 20~40분 정도로 비교적 길다. 따라서 본 실험에서는 현기준치와 그보다 2배 빠른 속도로 재하한 경우의 휨강도와 등가휨강도비를 비교하였다. 그 결과 그림 7과 8에서 보는 바와 같이 재하속도가 빠를수록 휨강도뿐만 아니라 등가휨강도비가 작은 값을 나타내었다. 이것은 하중재하속도가 빠를수록 강도특성이 크게 나타날 것이라는 예상과는 상반되는 것이며, 또한 그 차이가 비교적 크기 때문에 일관성있는 결과 얻고 상호비교를 위해서는 변위제어속도를 일관되게 유지하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

3) 지점조건의 영향

앞서 기술한 바와 같이 지점의 종류에 따라 보의 변형을 구속하여 휨강도 및 등가휨강도 특성에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 하지만 일반적으로 널리 사용하고 있는 휨시험장치의 경우 로울러가 아닌 힌지로 되어있어 시험체의 강도특성을 과대평가할 가능성이 있다. 따라서 본 실험에서는 지점을

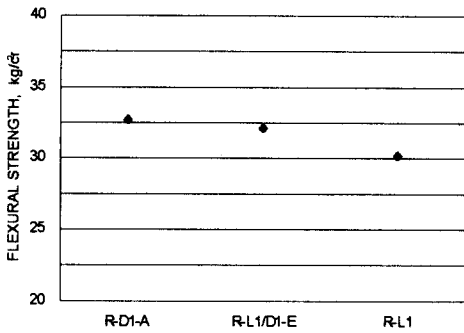


그림 4 제어방법에 따른 휨강도

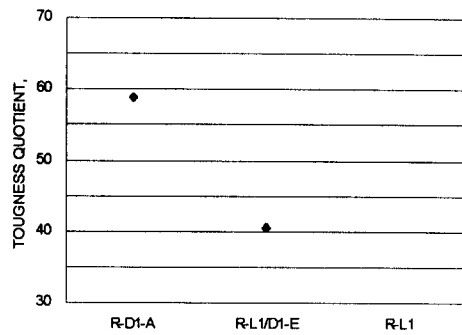


그림 5 제어방법에 따른 등가휨강도비

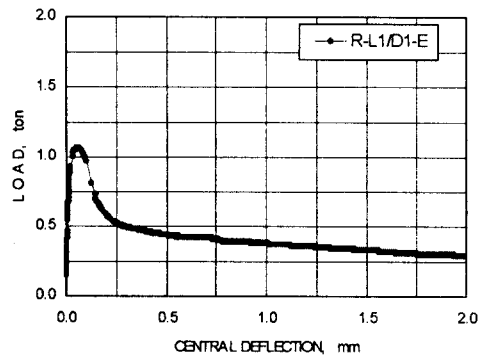
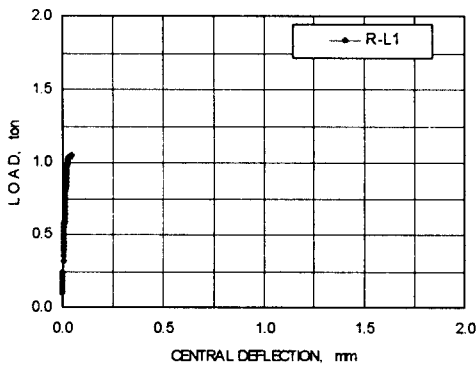


그림 6 제어방법에 따른 하중-변위곡선

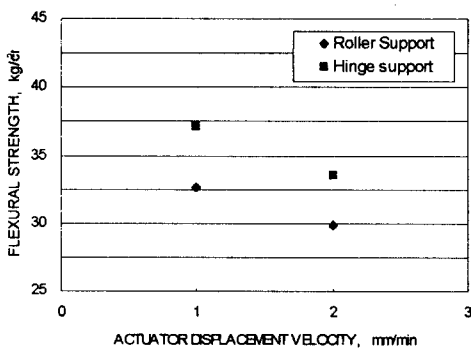


그림 7 지점조건에 따른 휨강도

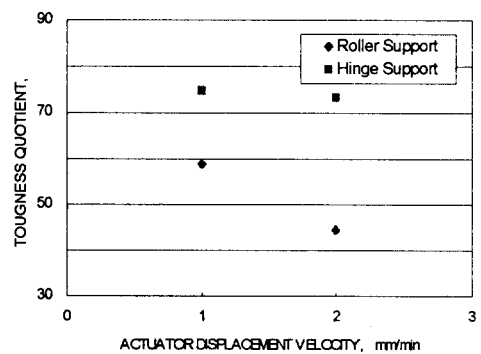


그림 8 지점조건에 따른 등가휨강도비

힌지와 로올러로 양분하여 휨강도 및 등가휨강도비에 미치는 영향을 살펴보았는데, 그림 7과 8에서 볼 수 있듯이 예상과 마찬가지로 힌지지점의 경우 로올러지점에 비하여 비교적 큰 값을 나타내었다. 이것은 앞서 기술한 바와같이 힌지지점의 경우 보의 길이방향변위를 구속하여 휨강도특성을 증가시킨 것으로 사료된다. 이것은 표 2에 제시한 바와 같이 지점의 이동거리를 측정된 결과 약 1.4mm의 비교적 큰 변위가 발생한 사실로도 증명된다. 따라서 신뢰도있는 결과를 얻기 위해서는 규정에 따라 로올러 지점을 사용해야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

(1) 섬유보강콘크리트의 품질평가기준인 휨인성을 얻기위해선 보의 순수처짐을 측정해야 하는데, 이것은 시험장치의 스트로크변위와는 상당히 큰 차이를 보이므로 LVDT장착방법에 각별히 유의해야 한다.

(2) 제어방법에 따라 휨강도의 차이는 비교적 작으나, 하중제어와 변위제어를 혼합하는 경우 변위 제어법에 비하여 상당히 작은 등가휨강도비를 나타내었다.

(3) 변위제어의 경우 속도가 빠를수록 휨강도와 등가휨강도비가 작은 값을 나타내었다.

(4) 지점조건을 힌지로 하는 경우 길이방향변위를 구속하여 휨강도 및 등가휨강도비를 과대평가하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. ASTM C 1116 Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete
2. ASTM C 1018 Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber Reinforced Concrete
3. ASTM C 1140 Practice for Preparing and Testing Specimens from Shotcrete Test Panels
4. ASTM C 42 Test Method for Obtaining and Testing Drilled and Sawed Beams of Concrete
5. ASTM C 78 Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)
6. JCI SF2 Method of Making Specimens for Strength and Toughness Tests of Fiber Reinforced Concrete
7. JCI SF3 Method of Making Specimens for Strength and Toughness Tests of Shotcreted Fiber Reinforced Concrete
8. JCI SF4 Method of Test for Flexural Strength and Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete
9. JIS A 1106 Method of Test for Flexural Strength of Concrete
10. 한국도로공사, 강섬유보강 shotcrete 시공 및 품질관리지침